

ВАКУУМНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ С МАГНИТО- АКТИВИРОВАННЫМИ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМИ РЕАКТОРАМИ

В.Одиноков¹, Г.Павлов¹, Э.Руденко²,
В.Семенюк², В.Сологуб¹, К.Шамрай³
info@niitm.ru, metall@imp.kiev.ua

В ОАО “НИИ точного машиностроения” (Москва)¹ разработан комплекс многофункционального вакуумно-технологического оборудования для прецизионного формирования наноструктур в технологии приборов nano- и субмикронной микроэлектроники и микромеханики. Оборудование оснащено перспективными ионно-плазменными реакторами, разработанными в Институте металлофизики НАН Украины (Киев)² и в Институте ядерных исследований НАН Украины (Киев)³.

Комплект оборудования предназначен для прецизионного размерного травления материалов nano- и микроэлектроники, в том числе алмазоподобных пленок, которые не образуют летучих соединений с реактивными газами; низкотемпературного формирования регулярных нанокластеров металл-катализатора для последующего выращивания в едином вакуумно-технологическом цикле пространственно-ориентированных углеродных наноструктур, в том числе нанотрубок. Основу оборудования составляют уникальные гибридные ионно-плазменные реакторы на основе геликонного ИСР-источника, дополненного плазменно-дуговым ускорителем (ПДУ) или ВЧ-магнетроном.

Отличительная особенность разработанных разрядных систем заключается в том, что в них воздействие на подложку и массоперенос осуществляются заряженной компонентой плазмы. Это обеспечивает возмож-

ность регулировки в широком диапазоне плотности и энергии потока ионов, а также их пространственного распределения. В результате появляется возможность для разработки новых технологических процессов с эффективным управлением параметров.

Создание предложенных гибридных ионно-плазменных реакторов на основе геликонного ИСР-источника и/или плазменно-дугового ускорителя (ПДУ) и/или ВЧ-магнетрона стало возможно благодаря совместимости разрядных систем по рабочему давлению и близкой плотности потоков ионов на подложку, генерируемых плазмообразующим газом ИСР-источника и материалом расходных электродов (2–5 мА/см²) и их энергиями (20–200 эВ). Это обеспечивает также возможность управления потоками магнитных полей, создаваемых унифицированными соленоидальными магнитными системами с источниками питания и управления.

Установка с комбинированной двухразрядной плазменной системой, в реакторе которой формируются геликонный и ВЧ магнетронный разряды (внешний вид представлен на рис.1), обеспечивает прецизионное травле-



Рис.1. Двухразрядный реактор для прецизионного травления (экспериментальный макет)

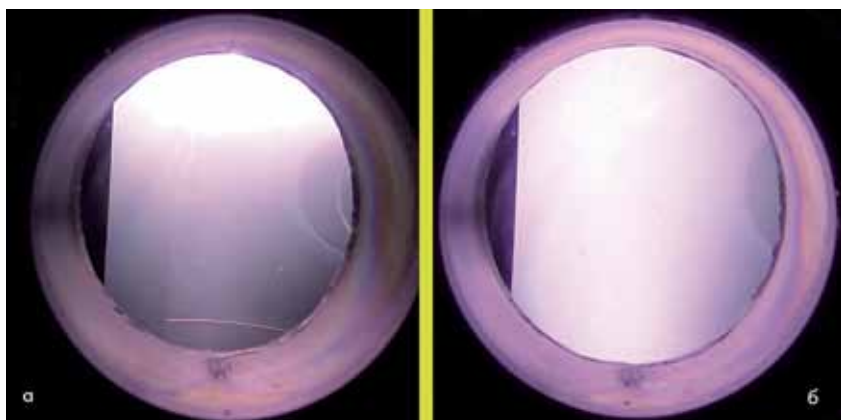


Рис.2. Управление плазменным потоком в геликонном источнике: а – обычный режим, б – режим “плазменной колонны”

ние наноразмерных структур изделий нано- и микроэлектроники, в том числе на пластинах увеличенного диаметра.

В предлагаемой системе возможна генерация плазменных потоков с плотностью ионной компоненты до 20–30 мА/см² и с независимо регулируемой энергией ионов в диапазоне 20–200 эВ. Управление энергией ионов в потоке плазмы обеспечивается изменением напряженности магнитного поля, скрещенного с электрическим ВЧ-полем в области электродного ВЧ-разряда, за счет управления балансом потоков электронов и ионов на разрядные электроды. Высокая плотность плазмы в геликонном источнике, превышающая 10¹²/см³, обеспечивает высокую скорость генерации химически активных радикалов реактивного газа.

Этот фактор, а также широкий диапазон независимого регулирования параметров ионного потока на обрабатываемое изделие позволяют без смены источников реализовать в одной гибридной разрядной плазменной системе ряд технологических процессов, в том числе плазмохимическое и реактивно-ионное травление, с преобладанием физического распыления материалов, когда не образуются летучие соединения с компонентами реактивных газов.

Одной из отличительных особенностей рассмотренных систем, включающих в свой состав

геликонный источник плазмы, является возможность управления распределением плотности плазменного потока на большом расстоянии от плоского индуктора этого источника до подложкодержателя с обрабатываемым изделием посредством изменения конфигурации и величины магнитных полей.

На рис.2 показан плазменный поток, формируемый геликонным источником в обычном режиме объемного разряда (а) и в режиме вторичного разряда, так называемой “плазменной колонны” (б). Это делает особо перспективным использование данной системы при обработке изделий большого диаметра. В частности, проведенные эксперименты позволяют прогнозировать возможность обработки изделий диаметром не менее 450 мм с высокой степенью равномерности по площади изделия.

Технологические процессы в разработанной установке контролируются автоматически встроенным малогабаритным оптическим спектрометром.

В результате разработанная плазменная система может найти широкое применение как в технологии субмикронной микроэлектроники, так и при прецизионной размерной обработке материалов нанoeлектроники.

В гибридном реакторе (рис.3) плазменная система сформирована на основе геликонного источника и плазменно-дугового ускорителя. Такая система позво-

ляет осуществлять формирование регулярных нанокластерных образований атомарного масштаба, а также выращивание углеродных нанотрубок при CVD-процессах и при непосредственном плазменно-дуговом нанесении углерода из расходуемого графитного электрода. Размеры наноструктурных образований и их периодичность контролируются выбором режимов работы ПДУ и изменяются от единиц до десятков нанометров (рис.4).

Характерной особенностью разработанной плазменной системы при ее использовании в установке для нанесения различных покрытий является возможность сепарации (отсекания) капельной фазы наносимого материала за счет управления потоком заряженной компоненты из распыляемого катода. Эта возможность обеспечивается конструкцией управляющих магнитных катушек, входящих в состав ПДУ, а также формой и величиной магнитных полей, формируемых этими катушками. На рис.5 показаны режимы работы ПДУ с поворотом потока материала на 70° (а) и 90° (б). Кроме того, в разработанной установке с гибридным реактором в процессе создания покрытий возможно одновременно проводить очистку поверхности нано-



Рис.3. Гибридный реактор для формирования наноструктур (экспериментальный макет)

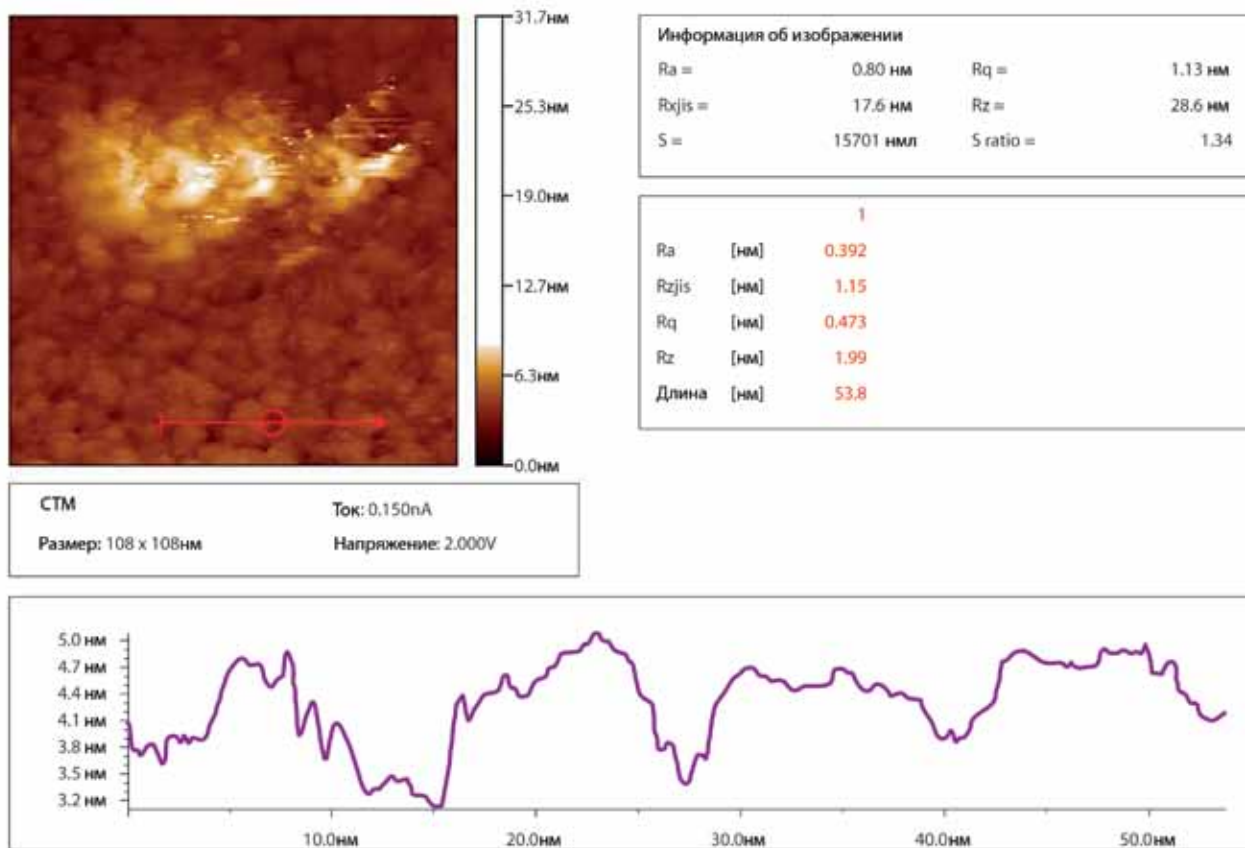


Рис.4. Нанокластеры металла-катализатора (СТМ-изображение – шаг 10 нм)

симых слоев, реализуемой посредством плазменного потока, генерируемого геликонным источником плазмы.

Комплекс вакуумно-технологического оборудования выпускается в двух модификациях – в варианте полномасштабного оборудования для серийного производства изделий наноэлектроники и микромеханики с возможностью встраивания

в “чистую” зону и в малогабаритном “настольном” исполнении для обучения специалистов высокой квалификации, разработки новых технологических процессов и мелкосерийного производства наноприборов.

Авторы выражают признательность М.Тузову, ведущему специалисту НИИТМ, за активное и квалифицированное участие

в подготовке настоящей статьи.

Литература

Шпак А., Руденко Э., Коротаеш И., Семенюк В., Шамрай К., Одинокое В., Павлов Г., Сологуб В. Плазменный источник низкотемпературного формирования нанокластеров металла-катализатора. – Наноиндустрия, 2009, № 4, с.12–15.

Shamrai K.P., Shinohara S., Virko V.F., Slobodyan V.M., Virko Yu V. and Kirichenko G.S. Wave stimulated phenomena in inductively coupled magnetized plasmas. – Plasma Phys. Control. Fusion., 2005, v.47, №5A, p.A307–315.

Kanzel V. V., Rakhovskii V. I. VI Int. Symposium on discharges and electrical insulation in vacuum (Swansea, England, 1974).

Одинокое В.В., Павлов Г. Я. Комплекс вакуумного оборудования для микро- и нанотехнологий. – Электронная промышленность, 2008, № 3, с.64–70.

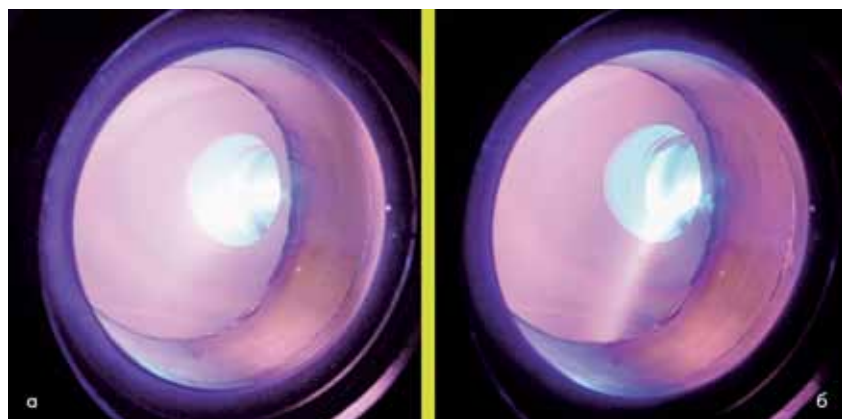


Рис.5. Управление плазменным потоком в вакуумно-дуговом источнике с отклонением потока: а – на 70°, б – на 90°